



EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

Anmeldenummer: 87105583.6

Int. Cl.4: F41H 3/02

Anmeldetag: 15.04.87

Priorität: 25.04.86 DE 3614017

Anmelder: DORNIER GMBH
Postfach 1420
D-7990 Friedrichshafen 1(DE)

Veröffentlichungstag der Anmeldung:
07.01.88 Patentblatt 88/01

Erfinder: Scherber, Werner, Dr., Dipl.-Phys.
Unterer Höhenweg 22
D-7750 Bermatingen(DE)

Benannte Vertragsstaaten:
CH DE FR GB IT LI SE

Vertreter: Landsmann, Ralf, Dipl.-Ing.
Kleeweg 3
D-7990 Friedrichshafen 1(DE)

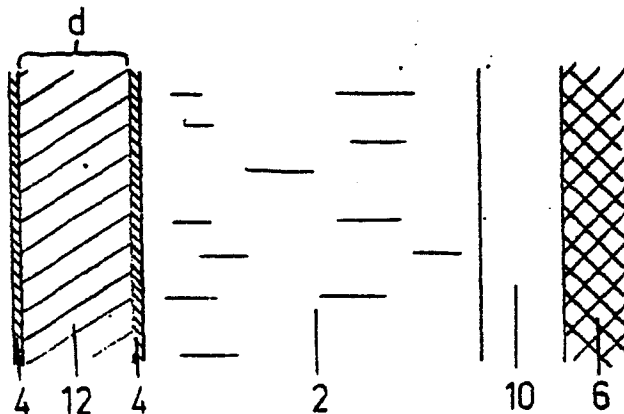
Multispektrale Tarnfolie.

Die Erfindung betrifft eine Kunststoff-Folie mit niedrigem Emissionsgrad im 2. und 3. atmosphärischen Fenster und hoher Transparenz in anderen Spektralbereichen, beispielsweise gegenüber Mikrowellen. Die Tarnfolie eignet sich aufgrund ihrer speziellen Merkmale

- als einfache, auswechselbare, niedrigemittierende Beschichtung,
- zur Wärmebildtarnung von ortsfesten Anlagen, insbesondere Radomen,
- als universelle Komponente in multispektralen Tarnsystemen.

>z.B. Kann ein Mehrschichtensystem zur Anwendung kommen, bei dem zwei dünne Filme (4) mit hohem Brechungsindex im Abstand d durch eine Schicht (12) mit niedrigem Brechungsindex gehemmt sind. Der besondere Vorteil dieser Ausbildungsform liegt darin, daß als Schicht (12) eine transparente Kunststoffolie verwendet werden kann, die z.B. identisch mit der Trägerfolie (2) ist, so daß die Anordnung eine hohe Flexibilität erhält. Zwischen der Trägerfolie (2) und dem zu tarnenden Objekt (6) befindet sich der Luftzwischenraum (10).

Fig. 3



EP 0 250 741 A1

Multispektrale Tarnfolie

Die Erfindung betrifft eine Kunststoff-Folie mit niedrigem Emissionsgrad im 2. und 3. atmosphärischen Fenster und hoher Transparenz in anderen Spektralbereichen, beispielsweise gegenüber Mikrowellen. Die Tarnfolie eignet sich aufgrund ihrer speziellen Merkmale

- als einfache, auswechselbare, niedrigemittierende Beschichtung,
- zur Wärmebildtarnung von ortsfesten Anlagen, insbesondere Radomen,
- als universelle Komponente in multispektralen Tarnsystemen.

Die Tarnung von Objekten gegen Aufklärung durch Wärmebildgeräte enthält eine besondere Problematik. Anders als im Sichtbaren ist im thermischen Infrarot-Bereich die Erkennbarkeit eines Objektes nicht nur von dessen Oberflächeneigenschaften (wie Farbe, Reflexionsgrad, Rauigkeit) abhängig, sondern wird zusätzlich durch die Temperatur der Oberfläche und die Temperaturen der Umgebung, des Hintergrundes und des Himmels bestimmt.

Zur Tarnung werden niedrigemittierende Anstriche eingesetzt. Diese Maßnahme verringert proportional zur Höhe des Emissionsgrades ϵ der Oberfläche, die von diesem Objekt ausgehende Wärmestrahlung; besonders bei stärker erwärmten Objekten kann auf diese Weise eine Minderung der Entdeckbarkeit erreicht werden.

Neben den Anstrichen sind andere Infrarot-Tarnmittel mit ähnlicher Wirkung bekannt: beispielsweise niedrigemittierende Textilien, kaschierte Metallfolien, Infrarot-Tarnnetze mit metallischen Elementen (Schichten, Folien, Fäden), galvanische, niedrigemittierende Beschichtungen und Ähnliches.

Gemeinsames Merkmal dieser infrarotaktiven Tarnmittel ist, dass die niedrigemittierende Wirkung durch Einlagerung von metallischen Schichten oder Partikeln erreicht wird. Niedrige Infrarot-Emissionsgrade unter etwa 70 % treten an homogenen Materialien nur auf, wenn diese metallischen Charakter und eine gewisse metallische Leitfähigkeit besitzen.

Herkömmliche metallhaltige IR-Tarnanstriche und IR-Tarnmittel besitzen einige typische Nachteile, welche ihre Verwendungsmöglichkeiten und Wirksamkeit stark einschränken:

Die Metallkomponente bewirkt, dass die Schichten für elektromagnetische Strahlung allgemein undurchlässig sind und starke Reflexionswirkung zeigen. Im sichtoptischen Bereich wird die unerwünschte Reflexion üblicherweise mit Hilfe von Farbpigmenten unterdrückt, dies ist jedoch im Mikrowellen- und Radiowellenbereich nicht möglich,

so dass diese IR-Tarnmittel gegenüber Radaufklärung keine tarnende Wirkung zeigen oder die Entdeckbarkeit eher noch erhöht wird, wenn das Objekt selbst radarneutral ist.

5 Aus dem gleichen Grund können herkömmliche niedrigemittierende Schichten nicht zur Tarnung von Kommunikationsanlagen wie Sende- und Empfangsantennen, Radarkuppeln und anderen entsprechenden Einrichtungen verwendet werden.

10 Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein multispektral wirksames Tarnmittel zu schaffen.

15 Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss mit Hilfe einer beschichteten Kunststoff-Folie gelöst, wobei die Beschichtung aus nichtmetallischem, infrarottransparentem Material besteht und die Schichtdicke im Verhältnis zum Brechungsindex so eingestellt wird, dass aufgrund von Interferenzeffekten die Wärmeabstrahlung im 2. und/oder 3. atmosphärischen Fenster reduziert wird. Die Anordnung besitzt eine hohe Durchlässigkeit für Strahlung im Mikrowellen- und Radiowellenbereich und je nach Ausführungsform auch in anderen Spektralbereichen (sichtbares Licht, nahes Infrarot), so dass die multispektrale Tarnwirkung gewährleistet bzw. nicht behindert wird.

20 Durch Aneinanderreihung von mehreren Foliensegmenten mit unterschiedlicher Abstrahlung (Emissionsgraden) und geeigneter geometrischer Form können auf einfache Weise weitere Tarneffekte durch Konturenzerlegung oder Erzeugung beliebiger Infrarotsignaturen erzielt werden.

25 Die Erfindung wird anhand von Figuren nachfolgend näher beschrieben.

Es zeigen:

Figur 1 Schnitte durch den Aufbau der Folien in drei Ausführungsformen,

Figur 2 den Spektralverlauf des Reflexionsgrades der drei Ausführungen in Figur 1,

Figur 3 den Einsatz eines Mehrschichtensystems als Folienaufbau,

Figur 4 die Darstellung einer Kuppel und die Möglichkeit der Simulation nichtvorhandener Strukturen auf der Kuppel,

Figur 5 einen Schnitt durch den Aufbau einer Radarabsorbereinrichtung.

Die Figur 1 zeigt den einfachen Aufbau der Tarnfolie in drei verschiedenen Einstellungen. Auf einer vorzugsweise infrarottransparenten Trägerfolie 2 (beispielsweise aus Polyethylen) befindet sich eine infrarottransparente, dielektrische Interferenzschicht 4. Die Folie deckt das zu tarnende Objekt 6 gegen einen Beobachter ab. Eine Schutzschicht 8 kann wahlweise eingesetzt werden,

sie muss in jedem Fall im IR-Frequenzbereich der Anwendung transparent sein. Der Bereich 10 stellt den Luftraum zwischen Folie und Objekt dar.

Die Schichtdicke d der Interferenzschicht bestimmt bei vorgegebenem Schichtmaterial die Höhe der Wärmeabstrahlung, den Emissionsgrad, der Gesamtanordnung Folie und Objekt. Soll eine besonders niedrige Abstrahlung, also eine kalte Oberfläche simuliert werden, so ist die Dicke etwa auf dem Wert $d = \lambda / (4 \cdot n)$ (Figur 1a) einzustellen, wobei n Brechungsindex der Schicht und λ Wellenlänge der Abstrahlung bedeutet. In der Regel wird λ auf das Zentrum der atmosphärischen Fenster (etwa $4 \mu\text{m}$ und $10 \mu\text{m}$) bezogen.

Damit ist eine niedrige IR-Durchlässigkeit und eine niedrige Wärmeabstrahlung von zu tarnendem Objekt und Tarnfolie er zielt.

Der entgegengesetzte Extremfall (hohe Emission, hohe Oberflächentemperatur) wird durch die Anordnung gemäss Figur 1c und ein mittlerer Zustand gemäss Figur 1b eingestellt.

In Figur 1b berechnet sich die Dicke d zu $d = 3 \cdot \lambda / (8 \cdot n)$ und in Figur 1c erhält d den Wert $d = \lambda / (2 \cdot n)$.

Alle weiteren Zwischenzustände sind auf diese Weise ohne Weiteres realisierbar.

Figur 2 zeigt zur Verdeutlichung den Spektralverlauf des Reflexionsgrades der drei in Figur 1 skizzierten Anordnungen. Erkennbar ist, wie die Reflexionsmaxima im Verhältnis zu den atmosphärischen Fenstern verschoben werden und dadurch die beschriebene Wirkung entsteht.

Die Figuren 1 und 2 beschreiben die Situation für Interferenzen an einer Schicht. Reflexmindernde und reflexerhöhende Wirkungen können durch Einsatz von Systemen mit zwei und mehr interferierenden Schichten noch weiter gesteigert werden. Die Praxis der Infrarot-Tarnung zeigt jedoch, dass in den meisten Fällen nicht die Extremwerte, sondern mittlere Emissionsgrade von $\epsilon = 30 - 70\%$ vorteilhaft sind, die mit der Einschicht-Interferenz erzeugt werden können.

Als mögliches Schichtmaterial kommt eine grössere Anzahl von Substanzen in Betracht. Die Auswahl richtet sich nach dem geforderten Transmissionsbereich im infraroten und im sichtoptischen Spektrum, sowie nach praktischen und technischen Gesichtspunkten wie Herstellbarkeit, Haltbarkeit und Kosten. Breitbandige Tarnwirkung und gute Stabilität bietet die Gruppe der Halbleiter wie Silizium, Germanium, Graphit, sowie Metallsulfide, Metallselenide und Metalltelluride, die auch als Rohstoff für kompakte IR-Fenster herangezogen werden. Wird zusätzlich die Transparenz im sichtoptischen Bereich gewünscht, sind oxidische

Materialien wie beispielsweise SiO_2 , Al_2O_3 , SnO_2 , In_2O_3 , TiO_2 , CeO_2 , MgO , Fluoride wie MgF_2 , PbF_2 , BaF_2 und andere Verbindungen mit ähnlichen Eigenschaften einsetzbar.

Ein weiteres wichtiges Kriterium für die Stoffauswahl ist der Brechungsindex der Schicht und seine Dispersion, das heisst sein Spektralverlauf. Hohe Brechungsindizes sind generell vorteilhaft, da mit steigendem n die erforderliche Schichtdicke abnimmt und die Tarnwirkung auch bei zunehmend schrägen Blickwinkeln noch vorhanden ist. Die Dispersion muss berücksichtigt werden, wenn eine simultane Wirkung in beiden atmosphärischen Fenstern optimiert werden soll. Wird z.B. eine Schicht auf maximale Reflexion (geringe Emission) bei $\lambda_3 = 10 \mu\text{m}$ eingestellt ($d = \lambda_3 / (4 \cdot n_3)$; $n_3 =$ mittlerer Brechungsindex im 3. atmosphärischen Fenster)), so hat diese Schicht auch ein Reflexionsmaximum im 2. atmosphärischen Fenster, dessen genaue Lage vom Brechungsindex n_2 (bei $3 - 5 \mu\text{m}$) abhängt:

$$\lambda_2 = \frac{\lambda_3}{2} \frac{n_2}{n_3}$$

25

30

35

40

45

50

55

Ist der Brechungsindex nicht frequenzabhängig ($n_2 = n_3$), so liegt das Maximum bei $\lambda_2 = 5 \mu\text{m}$. Eine leichte Erhöhung des Abstandes der beiden Maxima ($\lambda_2 - \lambda_3$), der in der Regel erwünscht sein wird, erfordert, daß n_2 etwas grösser als n_3 ist.

Figur 3 zeigt statt einer kompakten Interferenzschicht den Einsatz eines Mehrschichtensystems, bei dem zwei dünnere Filme 4 mit hohem Brechungsindex im Abstand d durch die Schicht 12 mit niedrigem Brechungsindex getrennt sind. Der besondere Vorteil dieser Ausführungsform liegt darin, dass als Schicht 12 eine transparente Kunststoff-Folie verwendet werden kann, die z.B. identisch mit der Trägerfolie 2 ist. Die Schichten 4 können in diesem Fall sehr viel dünner als die obigen $\lambda/4$ -Schichten ausgeführt werden, so dass die Anordnung eine höhere Flexibilität erhält, was sich für viele Anwendungen sehr vorteilhaft auswirkt. Die optische Wirkung dieser Anordnung entspricht jedoch der Einschicht-Interferenz. Zwischen Trägerfolie 2 und zu tarnendem Objekt 6 befindet sich der Luftzwischenraum 10.

Weitere Merkmale und Vorzüge der Erfindung sollen anhand typischer Anwendungen beschrieben werden.

Die erfindungsgemässe Tarnfolie kann sehr vorteilhaft zur Verkleidung von Radarkuppeln (Radome) eingesetzt werden. Die heutige Bauweise von Radomen hat sich im Hinblick auf die Detektierbarkeit im IR-Bereich als ausgesprochen ungünstig erwiesen. Aufgrund der geringen Wärmeleitfähigkeit und Wärmekapazität der Rado-

maussenhaut (Kunststoff-Schaummaterial oder -Folien) ist die Oberflächentemperatur starken witterungsbedingten Schwankungen unterworfen, was diesen Objekten eine ungewöhnlich gut ausgeprägte Wärmebildsignatur verleiht. Gegenmaßnahmen mit herkömmlichen Tarnmitteln ohne Beeinträchtigung der Radartransmission sind nicht bekannt.

Die Figur 4 zeigt symbolisiert diesen Anwendungsfall. In Figur 4a ist eine typische Signatur eines Radoms bei Sonneneinstrahlung gezeigt. Die obere Hälfte der Kugel ist stark erwärmt und hebt sich charakteristisch gegen den viel dunkleren Hintergrund ab. Bei Nacht sind die Hell-Dunkel-Verhältnisse wegen der niedrigen Himmelstemperatur gerade umgekehrt, aber ebenso gut erkennbar. Mit Hilfe der erfindungsgemässen, an der Ausenfläche des Radoms angebrachten Folie, wird eine wirkungsvolle Konturenzerlegung hervorgerufen, indem typische Strukturen der Umgebung wie z.B. rechteckige Flächen bei landwirtschaftlichen Feldern (Figur 4b, ohne Hintergrund) oder Siedlungen, Gebäudestrukturen (Figur 4c) oder sonstige Landschaftsformationen (Horizontlinien, Hügelketten, Waldflächen, Flußläufe) simuliert werden.

Eine ähnliche Situation liegt vor bei der Tarnung von anderen Anlagen und Komponenten der Übertragungstechnik, also Rundfunksendern, Fernmeldestationen, Satellitenempfangsantennen, Funkleitsystemen oder Peil- und Aufklärungssystemen). Alle diese im Verteidigungsfall unentbehrlichen Anlagen, die bisher als leicht erkennbar und verwundbar gelten, können mit Hilfe der Erfindung wirksam gegen Wärmebildaufklärung getarnt werden, ohne jede Beeinträchtigung ihrer Funktion.

Weitere Anwendungen liegen bei der IR-Tarnung von Gebäuden, Strassen, Brücken und ähnlichen Einrichtungen; ebenfalls strategisch sehr wichtige Objekte, die bisher gegenüber der Wärmebildbeobachtung nicht oder nur auf Kosten erhöhter Radarerkennbarkeit zu schützen sind. Vorteilhaft hierbei ist auch, dass die erfindungsgemässe Tarnfolie nicht ständig - wie ein Anstrich - vorhanden sein muss, da sie im Bedarfsfall sehr schnell ausgebreitet und wieder entfernt werden kann. Für manche Objekte, wie beispielsweise Strassen und Flugplatzanlagen, stellt dies die einzig denkbare Lösung dar.

Eine Anwendung, bei der die Durchlässigkeit im Mikrowellenbereich ebenfalls als entscheidende Voraussetzung eingeht, sind radarabsorbierende Materialien und Strukturen. Diese heute bekannten Tarnmittel gegen Radaraufklärung sind ausnahmslos gute IR-Emitter und deshalb im Wärmebild

leicht detektierbar, andererseits aber mit niedrige-mittleren Anstrichen auf Metallbasis nicht zu behandeln, da dann die Radarabsorberwirkung verlorengeht.

Die Figur 5 zeigt einen Querschnitt durch diese Anordnung. Die IR-aktive Tarnfolie mit Kunststoffträger 2 und Interferenzschicht 4 ist direkt mit dem Radarabsorbermaterial 14 verbunden. Die oben erwähnten Varianten zur Konturenzerlegung und Signatursimulation können natürlich auch hier vorteilhaft eingesetzt werden.

Eine zusätzliche Tarnwirkung im Sichtbaren oder nahen Infrarot ist durch Verwendung eingefärbter Kunststoff-Folien möglich. Werden Folien mit guter optischer Transparenz eingesetzt, dann kann die visuelle Tarnwirkung durch hinterlegte und damit leicht veränderbare Farbanstriche erreicht werden, oder sie ist durch den vorhandenen Tarnanstrich des Objekts bereits gegeben.

Bei der denkbaren Anwendung der erfindungsgemässen Tarnfolie auf Fahrzeuge, Schiffe, Flugzeuge, Stahlbrücken, Stahlmaste und Ähnlichem, kommt ein besonderer Aspekt dazu. Diese Objekte weisen aufgrund ihrer vorwiegend aus Metall bestehenden Struktur eine deutliche und charakteristische Radarsignatur auf. Dieses Problem kann grundsätzlich durch Anwendung von Radarabsorbern und multispektraler Tarnfolie, wie oben beschrieben, gelöst werden. Sind jedoch Radarabsorber aus irgendwelchen Gründen (Gewicht, Kosten, Verfügbarkeit) nicht erwünscht oder nicht möglich, dann kann mit Hilfe der erfindungsgemässen Tarnfolie ein kombinierter IR-Radar-Tarneffekt dadurch erzielt werden, dass die Folie objektseitig ganzflächig oder teilweise metallisiert wird. Bestimmte charakteristische Radarsignaturen des Objektes können auf diese Weise aufgehoben oder verfälscht werden.

Ansprüche

1. Vorrichtung zur multispektralen Tarnung von Objekten gegen eine Aufklärung, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Kunststoff-Folie (2) mit nichtmetallischer, eine erniedrigte Wärmemission vermittelnder Beschichtung (4) eingesetzt ist und diese beschichtete Folie eine hohe Durchlässigkeit in anderen, dem thermischen Infrarot benachbarten Spektralbereichen aufweist, in denen ebenfalls ein Tarneffekt erzielt werden soll.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die niedrigemittierende Wirkung im Temperaturstrahlungsbereich durch einen Interferenzeffekt in der Schicht (4) oder in einer Mehrschichtstruktur zustande kommt und die Schichtdicke(n) im Verhältnis zum Brechungsindex der interferierenden Schicht(en) so eingestellt wird-

(werden), dass das Reflexionsmaximum niedrigster Ordnung je nach Anwendung im Zentrum des 3. oder 2. atmosphärischen Fensters liegt.

3. Vorrichtung nach Ansprüchen 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Reflexionsmaximum niedrigster Ordnung des Interferenzschichtsystems ins 3. atmosphärische Fenster gelegt wird und ein Simultaneffekt im 2. atmosphärischen Fenster durch das Reflexionsmaximum der nächsthöheren Ordnung entsteht. 5
10

4. Vorrichtung nach Ansprüchen 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass geringere Reflexionswerte der Folie, gleichbedeutend mit höherer Emission der Gesamtanordnung, eingestellt werden, in dem die Reflexionsmaxima mehr oder weniger vom Zentrum der atmosphärischen Fenster entfernt werden. 15

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das zu tarnende Objekt (6) mit mehreren aneinandergereihten Foliensegmenten gemäss Anspruch 2 bis 4 mit unterschiedlichem Emissionsgrad überzogen oder abgedeckt wird, so dass eine IR-Konturenzerreißung und Anpassung an den Hintergrund erreicht wird und diese Segmente in beliebiger geometrischer Form gestaltet sind. 20
25

6. Vorrichtung nach Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass sie zur Wärmebildtarnung von Radomen und anderen Antennenanlagen und Übertragungsstationen eingesetzt wird. 30

7. Vorrichtung nach Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass sie zur Wärmebildtarnung von Gebäuden, Brücken, Strassen, Flugplätzen und anderen Einrichtungen eingesetzt wird. 35

8. Vorrichtung nach Ansprüchen 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Folie (2) objektseitig ganz oder fleckenweise metallisiert wird und zur multispektralen Tarnung von vorwiegend metallischen Objekten wie Fahrzeugen, Schiffen, Flugzeugen, Brücken, Masten und anderen entsprechenden Gegenständen eingesetzt wird. 40
45

45

50

55

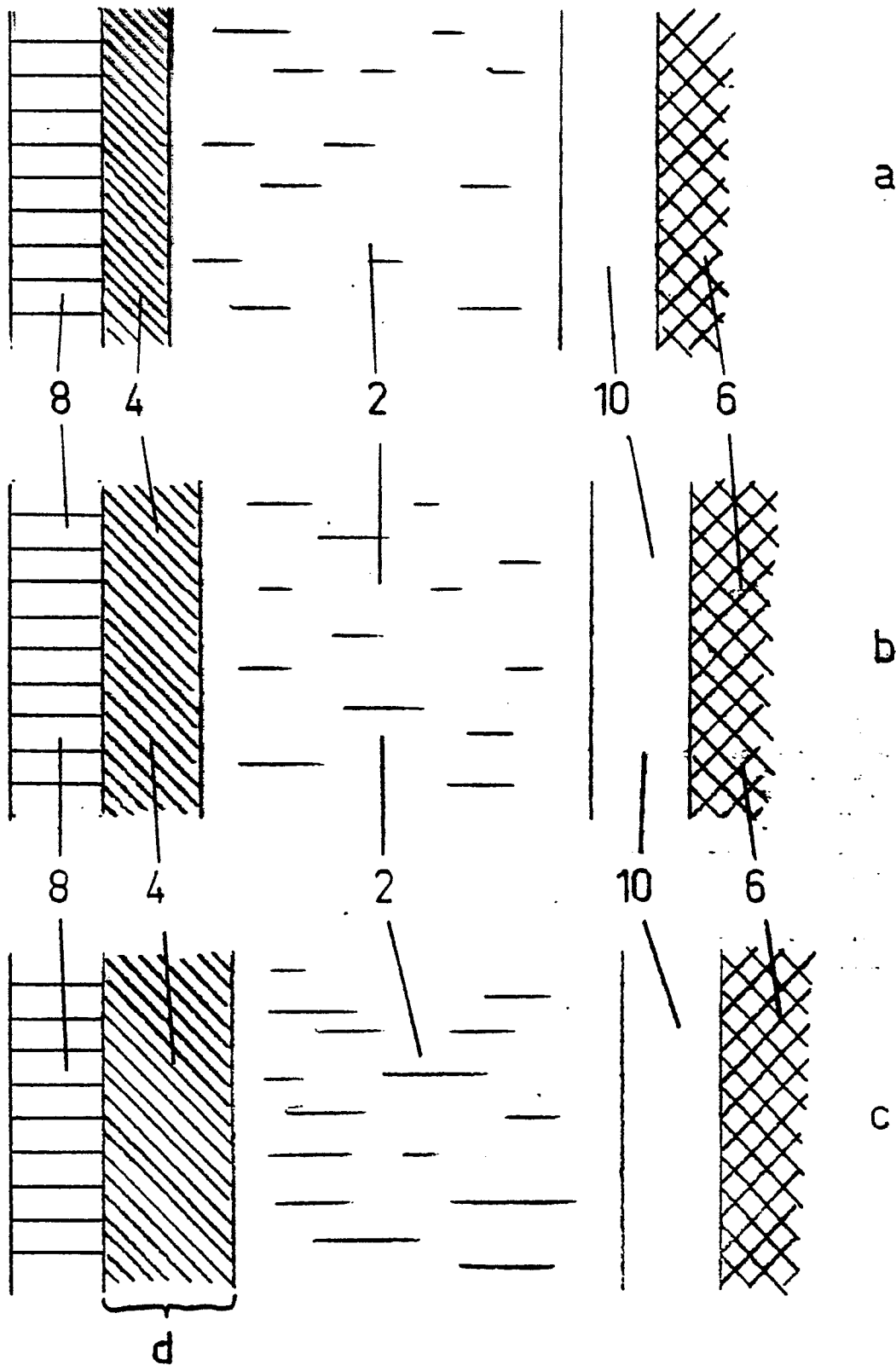


Fig. 1

Fig. 2

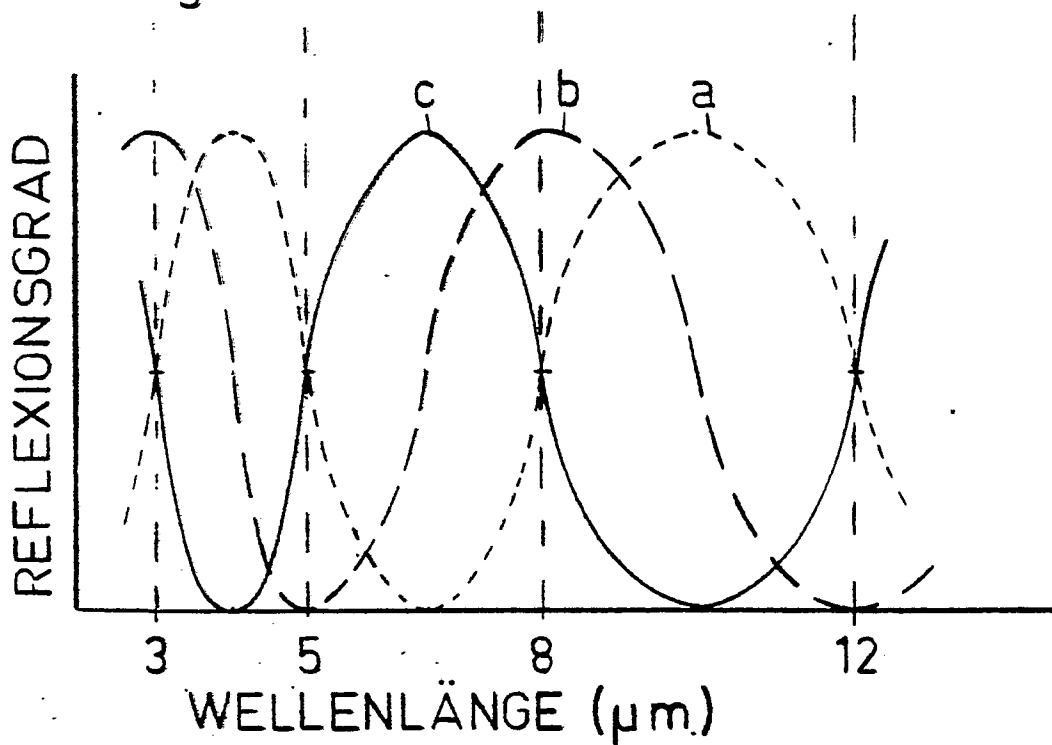
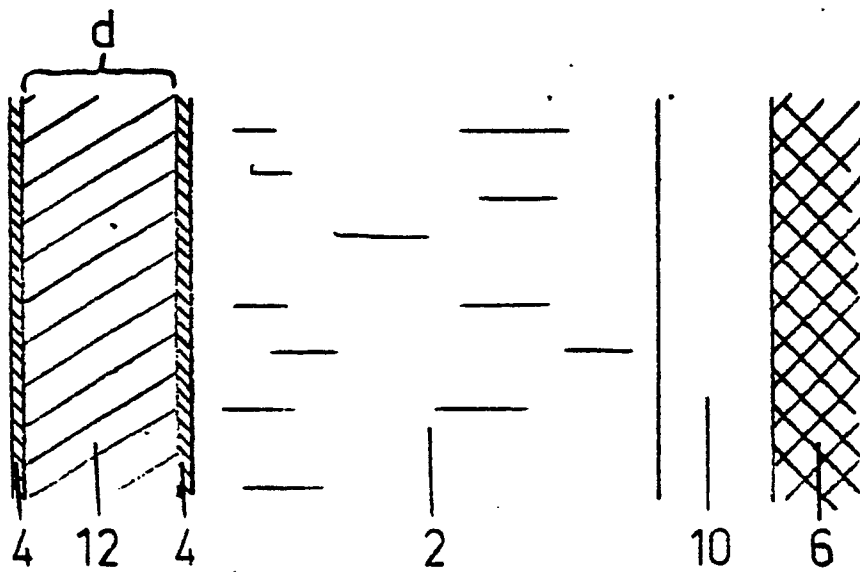
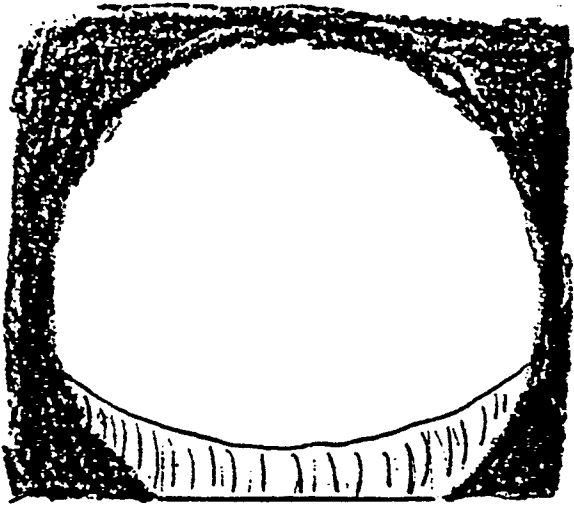
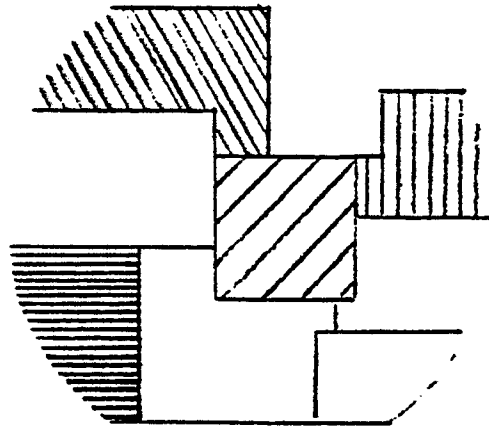


Fig. 3



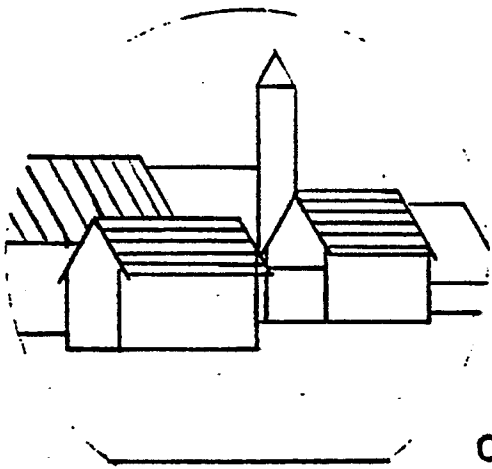


a



b

Fig. 4



c

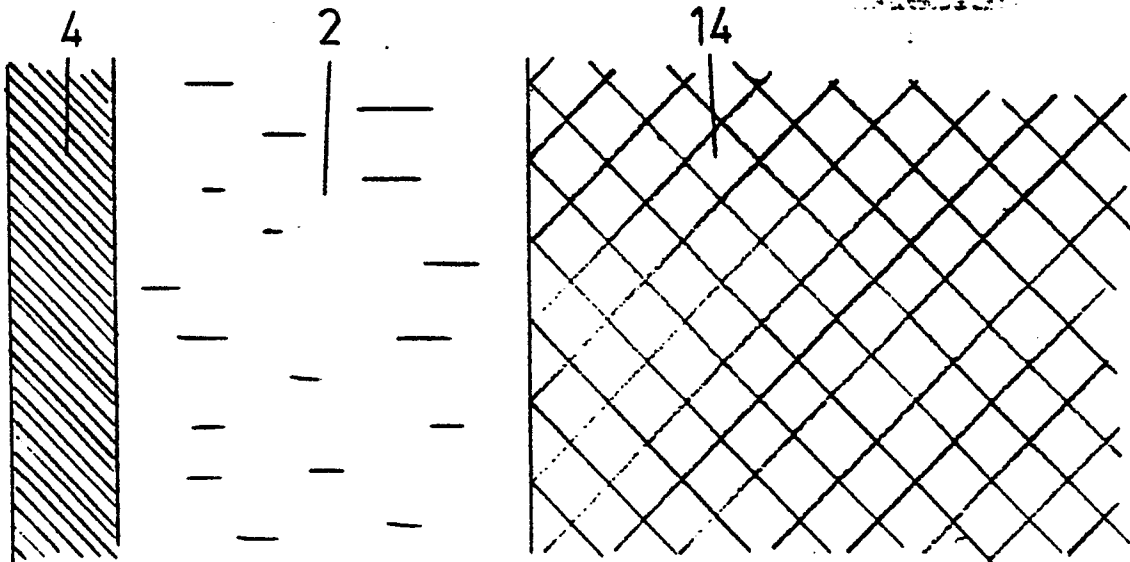


Fig. 5



EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			EP 87105583.6
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl. 4)
A	<u>DE - A1 - 3 217 977</u> (BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND) * Gesamt * --		F 41 H 3/02
A	<u>DE - C2 - 3 043 381</u> (DORNIER SYSTEM GMBH) * Gesamt * ----		
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int. Cl. 4)
			F 41 H 3/00 F 41 J 9/00 B 05 D 5/00
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenort WIEN		Abschlußdatum der Recherche 15-10-1987	Prüfer KALANDRA
<p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTEN</p> <p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze</p> <p>E : älteres Patentedokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus andern Gründen angeführtes Dokument</p> <p>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>			